

13/7/2  
DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2002 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

012009288      \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 1998-426198/\*199836\*

Two-beam measuring interferometer of refractive index of isotropic and anisotropic materials - has interference order registration system consisting of optical modulator placed between semi-transparent mirror and polariser and of narrow-band amplifier

Patent Assignee: KIEV HYDRAULIC INSTR RES INST LVOV SECT (KIEH-R)

Inventor: ANDRUSHCHAK A S

Number of Countries: 00er of Patents: 001

**Patent Family:**

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
RU 2102700	C1	19980120	SU 5006682	A	19910730	199836 B

Priority Applications (No Type Date): SU 5006682 A 19910730

**Patent Details:**

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
RU 2102700	C1	6	G01B-009/02	

**Abstract (Basic):** RU 2102700 C

A 2 beam interferometer contains a laser light source and a semi-transparent mirror (2) passing light into reference and measuring channels. The measuring channel consists of an optical modulator, a polard a test sample (5) in the form of a plane-parallel plate.

The measuring and reference beams are combined and passed through a photomultiplier and narrow-band amplifier to a registering device (11). The measuring beam is passed twice through the sample and the information interference pattern is registered.

ADVANTAGE - Better measuring accuracy and simplified measurement.

Dwg.1/2

Derwent Class: S02; S03

International Patent Class (Main): G01B-009/02

International Patent Class (Additional): G01N-021/45

06feb02 14:40:53 User015070 Session D7137.9

Sub account: SUGIM38.001AUS-CSP

\$20.95 Estimated cost this search

### Status: Signed Off.

06feb02 15:27:44 User015070 Session D7138.1

Sub account: SUGIM38.001AUS-CSP

File 345:Inpadoc/Fam.& Legal Stat 1968-2002/UD=200204

(c) 2002 EPO

Set	Items	Description
-----	-------	-------------

?ss an,pn=su 1640542

S1	0	AN=SU 1640542
S2	1	PN=SU 1640542
S3	1	AN,PN=SU 1640542

\_\_\_\_\_

(19) **RU** (11) **2102700** (13) **C1**(51) **6 G 01 B 9/02, G 01 N 21/45**

Комитет Российской Федерации  
по патентам и товарным знакам

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ к патенту Российской Федерации

1

(21) 5006682/28

(22) 30.07.91

(46) 20.01.98 Бюл. № 2

(72) Андрущак Анатолий Степанович (UA)

(71) Львовский филиал Киевского научно-исследовательского института гидроприборов (UA)

(73) Андрущак Анатолий Степанович (UA)

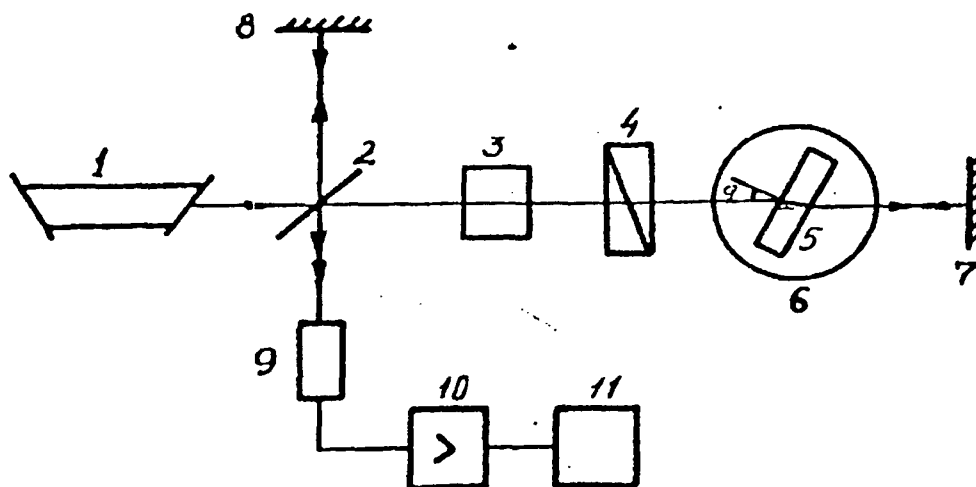
(56) 1. Авторское свидетельство СССР N 1060939, кл. G 01 B 9/02, 1983. 2. Коломийцев Ю.И. Интерферометры. - Л.: Машиностроение, 1976, с. 56, 277. 3. Betzler K.l.a.//Rev.Sei.Instrum 1988, v. 59, N 4, p. 552.

(54) ДВУХЛУЧЕВОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ИЗОТРОПНЫХ И АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Изобретение относится к области измерительной техники и может быть использовано для измерения с высокой

2

точностью показателей преломления изотропных и анизотропных материалов. Цель изобретения - повышение точности определения показателей преломления и упрощение процесса измерений. Цель достигается тем, что двухлучевой интерферометр содержит лазерный источник света 1, полупрозрачное зеркало 2, плоскость падения света на которое для исключения деполяризации излучения лазера 1 параллельна или перпендикулярна плоскости поляризации излучения лазера (ППИЛ), оптический модулятор 3, оптическая ось которого составляет  $45^\circ$  с ППИЛ, поляризатор 4, скрещенный или параллельный ППИЛ, луч после прохождения которого падает на исследуемый образец 5 в виде плоскопараллельной пластины из исследуемого материала, интерферометр содержит также установленные на вращающемся угломерном устройстве 6 два



фиг.1

RU 2102700 C1

RU 2102700 C1

3

2102700

4

отражающих зеркала 7, 8, расположенные  
на выходе интерферометра фотоумножитель  
9 со щелью на входе, узкополосный

усилитель 10 и регистрирующее устройство  
11. 2 ил.

---

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для измерения показателей преломления изотропных и анизотропных материалов.

Известен многолучевой интерферометр [1], содержащий источник монохроматического излучения, поляризатор, два зеркала, образующие интерферометр Фабри-Перо, фазовую пластинку и исследуемый образец на гониометре, установленные между зеркалами, поляризационный компенсатор, оптический модулятор, фотоэлектронный умножитель, узкополосный усилитель и регистрирующее устройство, принцип действия которого основан на измерении таких углов падения луча на исследуемую пластинку, при которых разность хода интерферометра Фабри-Перо изменяется на целое число интерференционных максимумов. Поскольку к точности изготовления и взаимной ориентации пластин интерферометра предъявляются высокие требования [2], недостатком указанного изобретения является сложность изготовления деталей устройства и особенно их юстировка. Кроме того, многолучевой интерферометр предназначен для измерения показателей преломления лишь изотропных материалов.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому двухлучевому интерферометру является устройство, описанное в [3] и состоящее из лазера, расширителя пучка, поляризатора, двух полупрозрачных и двух отражающих зеркал, формирующих интерферометр Маха-Цендера, исследуемого образца, находящегося на поворотном столике, управляемом компьютером, и системы регистрации. Принцип работы указанного устройства основан на регистрации изменений порядка интерференции в формируемой интерференционной картине, связанные с изменениями положения исследуемой пластины образца. Дальнейшая компьютерная обработка полученных экспериментальных результатов приближенным методом итеративной линейной интерполяции является достаточно сложной, требует больших трудозатрат и применения дорогостоящей аппаратуры. Кроме того, это понижает точность определения показателей преломления (погрешность измерений не лучше  $10^{-4}$ ).

Целью изобретения является повышение точности определения показателей преломления и упрощение процесса измерений.

Поставленная цель достигается тем, что в двухлучевой интерферометр для измерения показателей преломления изотропных и анизотропных материалов (далее - двухлу-

чевой интерферометр), содержащий последовательно расположенные источники монохроматического излучения и полупрозрачное зеркало для разделения излучения на два луча, в одном из которых последовательно установлены поляризатор, исследуемый образец на вращающем угломерном устройстве и первое отражающее зеркало, во втором - второе отражающее зеркало, а на выходе интерферометра - фотоумножитель, отражающие зеркала установлены перпендикулярно падающим лучам и образуют интерферометр Майкельсона, введена система непосредственной регистрации порядка интерференции, состоящая из оптического модулятора, установленного между полупрозрачным зеркалом и поляризатором, и расположенных на выходе интерферометра узкополосного усилителя, связанного с выходом фотоумножителя, и регистрирующего устройства, вход которого подключен к выходу узкополосного усилителя.

На фиг. 1 приведена принципиальная схема двухлучевого интерферометра. На фиг. 2 представлена экспериментально измеренная зависимость сдвига интерференционной картины от углов вращения пластины образца из плавленого кварца (на вставке эта же зависимость от квадрата угла вращения).

Предлагаемый двухлучевой интерферометр (фиг. 1) содержит источник монохроматического поляризованного излучения 1 (далее - лазер), полупрозрачное зеркало 2, плотность падения света на которое для исключения деполяризации излучения лазера 1 параллельна или перпендикулярна плоскости поляризации излучения лазера (ППИЛ), оптический модулятор 3, например электрооптический кристаллический модулятор, оптическая ось которого составляет угол  $45^\circ$  с ППИЛ, поляризатор 4, скрещенный или параллельный ППИЛ, исследуемый образец 5 в виде плоскопараллельной пластины из исследуемого материала, установленный на вращающемся угломерном устройстве 6, два отражающих зеркала 7, 8, расположенные на выходе интерферометра, фотоумножитель 9 со щелью на входе, узкополосный усилитель 10 и регистрирующее устройство 11, причем узкополосный усилитель 10 связан с выходом фотоумножителя 9, а вход регистрирующего устройства 11 подключен к выходу узкополосного усилителя 10.

Использование интерферометра Майкельсона вместо интерферометра Маха-Цендера, во-первых, позволяет увеличить в 2 раза чувствительность предлагаемого устройства за счет двойного прохождения луча через

образец и, во-вторых, исключает необходимость использования расширяющей лазерный луч оптической системы и снимает ограничения по возможному углу вращения образца ( $\leq 90^\circ$ ) за счет прохождения луча, отраженного от зеркала 7, по тому же оптическому пути. Таким образом, полностью отсутствует взаимное смещение центров интерферирующих световых пучков при вращении образца, а значит, при больших углах вращения образца не снижается контрастность регистрируемой интерференционной картины и увеличивается результирующее значение изменений порядка интерференции), что в конечном результате приводит к уменьшению погрешности определения показателей преломления исследуемых образцов.

Опишем работу предлагаемого устройства.

При вращении плоскопараллельной пластины образца 6 в одном из плеч интерферометра с осью вращения, перпендикулярной направлению падающего света, происходит сдвиг интерференционной картины на выходе интерферометра за счет изменения оптического пути луча, проходящего через образец 5. Регистрация изменения порядка интерференции проводится методом интерференционной модуляции, что значительно повышает точность измерений [2].

Выведем рабочее соотношение, позволяющее рассчитать показатель преломления исследуемого образца 5 по измеренным значениям изменений порядка интерференции при вращении образца 5 на определенный угол. Теоретически сдвиг интерференционной картины  $k$  в зависимости от угла поворота  $\varphi$  пластины образца 5 для интерферометра Майкельсона (аналогично интерферометру Маха-Цендера [3]) описывается следующим соотношением:

$$k = \frac{2d}{\lambda} \cdot \left[ \frac{n \cdot \cos(\varphi - \varphi')}{\cos \varphi} - n + 1 \right], \quad (1)$$

$$\varphi' = \arcsin \left[ \frac{\sin \varphi}{n} \right], \quad (2)$$

где  $\varphi'$  - угол, под которым свет распространяется внутри кристалла, отсчитываемый от направления нормали к поверхности образца,

$n$  и  $d$  - показатели преломления и толщины образца соответственно,

$\lambda$  - длина волны излучения лазера.

Учитывая, что  $\cos \varphi' = \sqrt{1 - (\sin^2 \varphi) / n^2}$  и  $\cos(\varphi - \varphi') = \cos \varphi \cdot \cos \varphi' + \sin \varphi \cdot \sin \varphi'$  выражение (1) упрощается к виду

$$k = \frac{2d}{\lambda} \cdot \left[ 1 - \cos \varphi - n \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi} \right] \quad (3)$$

При малых углах вращения  $\cos \varphi \approx 1 - \frac{1}{2} \varphi^2$  и  $\sin^2 \varphi = \varphi^2 \ll n^2$  тогда  $\sqrt{1 - (\sin^2 \varphi) / n^2} \approx 1 - \varphi^2 / 2n^2$  уравнение (3)

преобразуется к виду

$$k = \frac{2d}{\lambda} \cdot \frac{n-1}{2n} \cdot \varphi^2 \quad (4)$$

Из формулы (3) находим искомое соотношение для расчета  $n$ :

$$n = \frac{\sin^2 \varphi + (1 - \cos \varphi - k\lambda / 2d)^2}{2(1 - \cos \varphi - k\lambda / 2d)} \quad (5)$$

В формуле (4) угол  $\varphi$  также отсчитывается от нормали к поверхности образца и значение  $\varphi = 0$  практически устанавливается по минимуму зависимости  $k$  от  $\varphi$ , регистрирующее по изменению знака направления движения интерференционных максимумов в интерференционной картине, при прохождении через  $\varphi = 0$ .

Последнее уравнение полностью справедливо для изотропного образца, для которого нет необходимости учитывать взаимную ориентацию образца и плоскости пропускания поляризатора (ППП). Для одноосных кристаллов пластину образца вырезают и устанавливают так, чтобы оптическая ось была параллельна вертикальной оси вращения. Тогда при вертикальном ППП измеряют необыкновенный показатель преломления  $n_1$ , а при горизонтальной - обыкновенный  $n_0$ .

В случае двухосных кристаллов измерения трех показателей преломления  $n_1$ ,  $n_2$  и  $n_3$  можно проводить следующим образом:

1) при наличии двух разных пластин, вырезанных перпендикулярно любым двум осям оптической индикатриссы, проводятся три измерения, когда три оси оптической индикатриссы поочередно устанавливаются параллельно размещенной вертикально поляризации света, а значит, и оси вращения, 2) при наличии одной пластины, вырезанной перпендикулярно одной из осей оптической индикатриссы (пусть, например, оси 3), измерение показателей преломления  $n_1$  и  $n_2$  проводится согласно п. 1. Для определения  $n_3$  проводятся измерения со светом, поляризованным перпендикулярно оси вращения в одной из двух геометрий, использовавшихся для определения  $n_1$  и  $n_2$  (пусть, например,  $n_2$ ). В этом случае в уравнениях (1) и (2) для угла  $\varphi = 0$ ,  $n = n_1$ , а для  $\varphi \neq 0$  показатель преломления необходимо заменить на зависящий от угла эффективный показатель преломления  $n_{\text{эф}}$

$$n_{\text{эф}} = [n_1^{-2} \cos^2 \varphi + n_3^{-2} \cdot \sin^2 \varphi]^{-1/2}.$$

Решая совместно уравнения (1), (2) и (5), находим искомое значение показателя

преломления  $n_3$ , зависящее от измеренных значений угла вращения  $\varphi$  пластины и соответствующего ему изменению порядка интерференции  $k$  при известном  $n_1$ :

$$n_3 = \frac{n_1 \cdot \sin \varphi}{[n_1^2 - (n_1 - 1 + \cos \varphi + k\lambda/2d)^2]^{1/2}} \quad (7)$$

Предлагаемое устройство разработано для прецизионного измерения показателей преломления изотропных или кристаллических материалов. Приведем пример конкретного исполнения. В качестве источника монохроматического излучения 1 использован стабилизированный по длине волны излучения He-Ne лазер типа ЛГН-302.

Для модуляции оптического излучения использован электрооптический модулятор МЛ-5 по 2.081.038 ТО из кристалла метаниобата лития, работающего в режиме удвоения частоты. Отметим здесь, что в качестве оптического модулятора 3 можно использовать другие известные средства интерференционной модуляции. Для регистрации оптического модулированного излучения применен фотоэлектрический умножитель ФЭУ-51, сигнал которого регистрировался через узкополосный усилитель 9, построенный по известным принципиальным схемам, осциллографом С1-83. Измерения проводились для примера на плоскопараллельной пластине из плавленного кварца. Для обеспечения более качественной интерференционной картины в плоскости щели фотоумножителя 9 можно использовать короткофокусную линзу.

Экспериментальная зависимость сдвига интерференционной картины  $k$  от угла вращения образца 5 из плавленного кварца представлена на фиг. 2. Как видно, при малых углах  $\varphi$  зависимость  $k(\varphi^2)$  является линейной, что соответствует (4), а значит, и подтверждает истинность формулы (3).

Оценим погрешность определения  $n$  исходя из погрешностей измерений угла вращения  $\delta\varphi$  порядка интерференции  $\delta k$  толщины пластины  $\delta d$  и длины световой волны лазера  $\delta\lambda$  как для измерений по п. 1, так и для п. 2. Для этого исходим из формулы

$$\delta n = \left\{ \left[ \frac{\partial n}{\partial \varphi} \cdot \delta\varphi \right]^2 + \left[ \frac{\partial n}{\partial k} \delta k \right]^2 + \left[ \frac{\partial n}{\partial d} \cdot \delta d \right]^2 + \left[ \frac{\partial n}{\partial \lambda} \cdot \delta\lambda \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (8)$$

$$\delta n_3 = \left\{ \left[ \frac{\partial n_3}{\partial n_1} \cdot \delta n_1 \right]^2 + \left[ \frac{\partial n_3}{\partial \varphi} \cdot \delta\varphi \right]^2 + \left[ \frac{\partial n_3}{\partial k} \cdot \delta k \right]^2 + \left[ \frac{\partial n_3}{\partial d} \cdot \delta d \right]^2 + \left[ \frac{\partial n_3}{\partial \lambda} \cdot \delta\lambda \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (9)$$

В последней формуле  $\delta n_1 = \delta n$  - абсолютная погрешность измерения показателя преломления  $n$ , рассчитанная по формуле (8).

После соответствующих расчетов из формул (5) и (7) получим:

$$\delta n = \left\{ \left[ \frac{(1-\Delta-2n)\sin\varphi}{2(1-\cos\varphi-\Delta)} \cdot \delta\varphi \right]^2 + \left[ \frac{\sin^2\varphi}{2(1-\cos\varphi-\Delta)^2} - \frac{1}{2} \right]^2 (\delta\Delta)^2 \right\}^{1/2} \quad (10)$$

$$\delta n_3 = n_3 (n_1 - 1 + \cos\varphi + \Delta) \cdot \left\{ \left[ \frac{\delta n}{n_1 (2n_1 - 1 + \cos\varphi + \Delta)} \right]^2 + \left[ \frac{\operatorname{ctg}\varphi}{n_1 - 1 + \cos\varphi + \Delta} - \frac{\sin\varphi}{n_1^2 - (n_1 - 1 + \cos\varphi + \Delta)^2} \right]^2 (\delta\varphi)^2 + \left[ \frac{\delta\Delta}{n_1^2 - (n_1 - 1 + \cos\varphi + \Delta)^2} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (11)$$

$$\Delta = \frac{k\lambda}{2d}$$

$$\text{где} \quad \delta\Delta = \left\{ \left[ \frac{\lambda}{2d} \cdot \delta k \right]^2 + \left[ \frac{k\lambda}{2d^2} \cdot \delta d \right]^2 + \left[ \frac{k}{2d} \cdot \delta\lambda \right]^2 \right\}^{1/2}$$

Численная оценка погрешности произведена для  $n = 1,6$ ,  $d = 10$  мм,  $\lambda = 0,6328$  мкм. Для максимального реально возможного угла вращения  $\varphi = 87^\circ$  расчет по формуле (3) приводит к значению индуцированного изменения порядка интерференции  $k = 18,9 \cdot 10^3$ . Абсолютная погрешность измерения толщины пластинки образца 5 (фиг. 1)  $\delta d$  при  $d = 10$  мм может быть принята равной 0,01 мкм, а погрешность определения порядка интерференции  $\delta k = 0,007$ . Нестабильность серийно выпускаемых стабилизированных лазеров типа ЛГИ-302 составляет  $3 \cdot 10^{-8}$  мкм. Измерение угла вращения с абсолютной погрешностью  $1 \cdot 10^{-6}$  /1/ приводит к результирующему значению абсолютной погрешности  $\delta n$ , равной  $4,4 \cdot 10^{-6}$ , что более чем на порядок превышает точность измерения показателей преломления в /3/ и в 2 раза точнее измерений  $n$  стеклянных пластин.

Рассчитанная по формуле (11) абсолютная погрешность измерений показателя преломления  $n_3$  при этих же значениях исходящих параметров двухосного кристалла для бифталата цезия ( $n_1 = 1,6702$  и  $n_3 = 1,5263$ ) оказывается равной  $1,9 \cdot 10^{-6}$ , что более чем в 2 раза меньше погрешности  $\delta n$ .

Таким образом, измерение показателей

преломления, согласно п. 2, повышает точность определения показателя преломления, что дает возможность рекомендовать его для более точного измерения двух показателей преломления двухосных кристаллов при известном третьем и одного из показателей преломления  $n_o$  или  $n_e$  одноосных кристаллов при известном другом. В последнем случае плоскость поляризации света и оптическую ось исследуемого кристалла устанавливают перпендикулярно оси вращения образца.

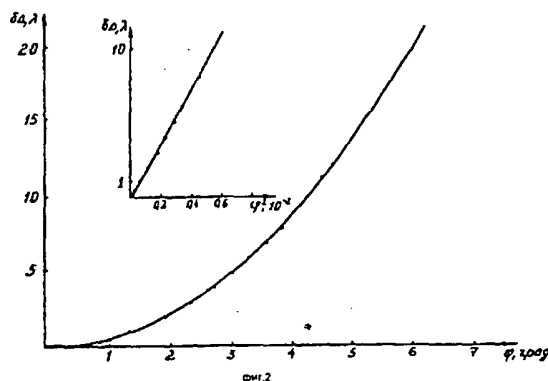
Главным преимуществом предлагаемого двухлучевого интерферометра является по-

вышение точности определения показателей преломления и упрощение процесса измерений за счет использования схемы интерферометра Майкельсона и непосредственного расчета показателя преломления по формуле (5) или (7). Быстрое измерение  $n$  с незначительными трудозатратами позволяет рекомендовать предлагаемое устройство для экспресс-анализа по показателю преломления плоскопараллельных пластин из изотропных и кристаллических материалов в производственных условиях.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Двухлучевой интерферометр для измерения показателя преломления изотропных и анизотропных материалов, содержащий последовательно расположенные источник монохроматического излучения и полупрозрачное зеркало для разделения излучения на два луча, последовательно расположенные поляризатор, угломерное устройство, установленное с возможностью вращения и предназначенное для размещения образца, и первое отражающее зеркало, установленные в первом разделенном луче, расположенные во втором луче второе отражающее зеркало, а на выходе интерферометра - фотоумножитель, отличающийся

тем, что, с целью повышения точности определения показателей преломления и упрощения процесса измерений, он снабжен системой непосредственной регистрации порядков интерференции, состоящей из оптического модулятора, установленного между полупрозрачным зеркалом и поляризатором, и расположенных на выходе интерферометра узкополосного усилителя, связанного с выходом фотоумножителя, и регистрирующего устройства, вход которого подключен к выходу узкополосного усилителя, а отражающие зеркала и полупрозрачное зеркало образуют интерферометр Майкельсона.



Заказ 9.

Подписное

ВНИИПИ, Рег. ЛР № 040720

113834, ГСП, Москва, Раушская наб., 4/5

121873, Москва, Бережковская наб., 24 стр. 2.  
Производственное предприятие «Патент»